



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

新
版

全国高等职业教育规划教材

电工与电子 技术基础

第2版

©周元兴 主编



提供电子教案增值服务

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
全国高等职业教育规划教材

电工与电子技术基础

第 2 版

周元兴 主编



机械工业出版社

本书介绍了电工技术、电子技术的基础知识和必备的基本技能。内容包括：直流电路、正弦交流电路、电磁电器和电磁设备、继电器-接触器控制电路、可编程序控制器简介、工厂输配电与照明电路和安全用电；常用晶体管、晶体管放大电路、集成运算放大电路、门电路和组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路、集成 555 定时器和非电量的测量（传感器）等共 13 章。各章均配有实训和习题，书后附有部分习题参考答案。

本书既可作为高职高专机电类学生“电工与电子技术”课程的教材，也可供相关技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

电工与电子技术基础/周元兴主编. —2 版. —北京：机械工业出版社，2008. 2

普通高等教育“十一五”国家级规划教材·全国高等职业教育规划教材

ISBN 978 - 7 - 111 - 08312 - 2

I. 电… II. 周… III. ①电工技术 - 高等学校：技术学校 - 教材②电子技术 - 高等学校：技术学校 - 教材 IV. TM TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2008）第 017890 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

责任编辑：刘亚军 版式设计：霍永明

责任校对：申春香 责任印制：邓 博

北京京丰印刷厂印刷

2008 年 5 月第 2 版 · 第 1 次印刷

184mm × 260mm · 20.75 印张 · 513 千字

00 001—14 000 册

标准书号：ISBN 978 - 7 - 111 - 08312 - 2

定价：33.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

销售服务热线电话：（010）68326294

购书热线电话：（010）88379639 88379641 88379643

编辑热线电话：（010）88379753 88379739

封面无防伪标均为盗版

21 世纪高职高专机电专业系列教材 编委会成员名单

主 任 吴家礼

副 主 任 任建伟 李望云 张 华 梁 栋
盛靖琪

委 员 (排名不分先后)

陈志刚	陈剑鹤	韩满林	李柏青
盛定高	张 伟	李晓宏	刘靖华
陈文杰	程时甘	韩全立	张宪立
胡光耀	苑喜军	李新平	吕 汀
杨华明	刘达有	程 奎	李益民
吴元凯	王国玉	王启洋	杨文龙

秘 书 长 胡毓坚

副秘书长 郝秀凯

出版说明

根据《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》中提出的高等职业院校必须把培养学生动手能力、实践能力和可持续发展能力放在突出的地位,促进学生技能的培养,以及教材内容要紧密结合生产实际,并注意及时跟踪先进技术的发展等指导精神,机械工业出版社组织全国近60所高等职业院校的骨干教师对在2001年出版的“面向21世纪高职高专系列教材”进行了全面的修订和增补,并更名为“全国高等职业教育规划教材”。

本系列教材是由高职高专计算机专业、电子技术专业和机电专业教材编委会分别会同各高职高专院校的一线骨干教师,针对相关专业的课程设置,融合教学中的实践经验,同时吸收高等职业教育改革的成果而编写完成的,具有“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理和叙述通俗”的编写特色。在几年的教学实践中,本系列教材获得了较高的评价,并有多品种被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。在修订和增补过程中,除了保持原有特色外,针对课程的不同性质采取了不同的优化措施。其中,核心基础课的教材在保持扎实的理论基础的同时,增加实训和习题;实践性较强的课程强调理论与实训紧密结合;涉及实用技术的课程则在教材中引入了最新的知识、技术、工艺和方法。同时,根据实际教学的需要对部分课程进行了整合。

归纳起来,本系列教材具有以下特点:

- (1) 围绕培养学生的职业技能这条主线来设计教材的结构、内容和形式。
- (2) 合理安排基础知识和实践知识的比例。基础知识以“必需、够用”为度,强调专业技术应用能力的训练,适当增加实训环节。
- (3) 符合高职学生的学习特点和认知规律。对基本理论和方法的论述要容易理解、清晰简洁,多用图表来表达信息;增加相关技术在生产中的应用实例,引导学生主动学习。
- (4) 教材内容紧随技术和经济的发展而更新,及时将新知识、新技术、新工艺和新案例等引入教材。同时注重吸收最新的教学理念,并积极支持新专业的教材建设。
- (5) 注重立体化教材建设。通过主教材、电子教案、配套素材光盘、实训指导和习题及解答等教学资源的有机结合,提高教学服务水平,为高素质技能型人才的培养创造良好的条件。

由于我国高等职业教育改革和发展的速度很快,加之我们的水平和经验有限,因此在教材的编写和出版过程中难免出现问题和错误。我们恳请使用这套教材的师生及时向我们反馈质量信息,以利于我们今后不断提高教材的出版质量,为广大师生提供更多、更适用的教材。

机械工业出版社

前 言

本教材是根据高等职业教育的发展,结合机电类专业培养高级应用型技术人材的需求,在机械工业出版社出版的《电工与电子技术基础》第1版的基础上进行修订的。本教材已被教育部列为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本教材在第1版的基础上,按照职业教学的特点,做了以下几方面的工作:

(1) 根据学生的认知特点,对第1章的内容进行了较大的改编,先介绍物理量、直流电路中的元器件,再介绍电路的基本定律,最后介绍对直流电路进行电路分析的常用方法。

(2) 根据通俗易懂的原则,将已学过的知识穿插在需要的教材中,如用RC元件组成第9章的桥式振荡电路,采用物理概念进行分析,避开了繁琐的数学推导。

(3) 考虑到555定时器内既非模拟电路,又非数字电路,故将它另列为一章。

(4) 为使学生掌握基本理论知识,各章安排了相应较实用的实训内容。同时将电动机的拆装改为变压器、电动机绕组的同名端判别。

本课程是机电类专业的一门重要技术基础课。其任务是使学生掌握机电类专业必备的电工基础知识、电子基础知识和安全用电常识;熟悉常用的电工应用技术、电子应用技术;了解电工技术和电子技术在机械领域的新产品、新技术、新趋向。考虑到本课程是机电类专业的综合性基础课程,结合高等职业技术教育的特点,力求做到内容浅显好学,语言通俗易懂,图文并茂;又根据本课程实践性较强的特点,在各章后都安排了相应的实践性环节,使理论教学与实践紧密结合,以培养学生理论联系实际的能力和实事求是的科学态度。

为便于教学和读者自学,本书各章均配有实训和习题,书后附有部分参考答案,并提供与教材配套的电子教案,读者可在机械工业出版社网站 WWW.cmpedu.com 上免费下载。

本教材参考学时数为164学时,其中理论教学为122学时,技能训练为42学时。

本书由周元兴主编。第1、2、7、8章由吴轶群编写,第3、6章由周元兴编写,第4、9、13章由王建锋编写,第5、10、11、12章由吴秋芹编写。

本书由郭再泉副教授主审,并提出了许多宝贵意见。在修订过程中,得到了许多同行的帮助,尤其得到了参与第1版编写工作的孙艳霞、李溪冰、李积芳、成建生、赵明富、汪卫红、方凤玲等各位老师的帮助,在此一并表示诚挚的感谢。

由于编者水平所限,书中错误和欠妥之处在所难免,敬请读者指正。

作 者

目 录

出版说明

前言

第1章 直流电路 1

1.1 电路及其主要物理量 1

1.1.1 电路的组成和作用 2

1.1.2 电路模型 2

1.1.3 电路的主要物理量 2

1.2 电阻元件及电阻的串、并联连接 6

1.2.1 电阻元件 7

1.2.2 电阻元件的串联和并联 8

1.3 有源元件及其等效变换 10

1.3.1 理想电源元件 10

1.3.2 实际电源的电路模型 11

1.3.3 实际电源的等效变换 12

1.4 电路的工作状态和电器设备的额定值 14

1.4.1 全电路欧姆定律 14

1.4.2 电路的工作状态 15

1.4.3 电器设备的额定值 17

1.5 基尔霍夫定律 18

1.5.1 基尔霍夫电流定律 19

1.5.2 基尔霍夫电压定律 19

1.6 支路电流法 20

1.7 叠加原理 21

1.8 戴维南定理 23

1.9 电路中电位的计算 25

1.10 实训1 实训室电源设施的用途及常用仪器和仪表的使用 27

1.11 实训2 电路中电位的测量 34

1.12 小结 36

1.13 习题 36

第2章 正弦交流电路 42

2.1 正弦交流电的基本概念 42

2.1.1 瞬时值、幅值、有效值 42

2.1.2 周期、频率、角频率 43

2.1.3 相位、初相位、相位差 44

2.2 正弦量的相量图表示法 45

2.3 单一参数正弦交流电路 47

2.3.1 电阻元件的交流电路 47

2.3.2 电感元件的交流电路 48

2.3.3 电容元件的交流电路 51

2.4 RLC 串联电路 53

2.4.1 RLC 串联电路的电压、电流和阻抗 53

2.4.2 RLC 串联电路的功率 55

2.5 RL 串联与 C 并联电路 56

2.5.1 电压与电流的关系 56

2.5.2 电路的功率 57

2.5.3 提高功率因数 57

2.6 三相电源的联结 58

2.7 三相负载的联结 59

2.7.1 三相负载的星形联结 59

2.7.2 三相负载的三角形联结 62

2.7.3 三相功率 63

2.8 实训3 荧光灯电路的装接 64

2.9 小结 67

2.10 习题 68

第3章 电磁电器和电磁设备 71

3.1 磁路 71

3.1.1 磁场的基本物理量 71

3.1.2 磁性材料的磁性能 72

3.1.3 磁路的概念 73

3.2 变压器的原理和应用 73

3.2.1 变压器空载运行和电压变换 74

3.2.2 变压器带载运行和电流变换 75

3.2.3 变压器的阻抗变换 76

3.2.4 变压器的额定值、外特性

和效率	77	控制电路	112
3.2.5 特殊变压器	78	4.3.2 复式按钮和接触器联锁的 正反转控制电路	113
3.3 电磁铁及其电磁电器	81	4.4 行程控制、时间控制电路	114
3.3.1 电磁铁	81	4.4.1 行程控制电路	114
3.3.2 交流接触器	82	4.4.2 时间控制电路	117
3.3.3 电磁阀	83	4.5 触头的联锁	120
3.4 三相异步电动机	84	4.5.1 按顺序先后起动	121
3.4.1 三相异步电动机的结构	84	4.5.2 按顺序先后停止	121
3.4.2 三相异步电动机的工作原理	86	4.5.3 同时运行、不允许单独运行	122
3.4.3 三相异步电动机的电磁转矩 和机械特性	88	4.5.4 单独运行、不允许同时运行	122
3.4.4 三相异步电动机的铭牌	89	4.6 继电-接触器控制电路 应用举例	122
3.4.5 三相异步电动机的起动、 调速和制动	91	4.6.1 C620—1 型普通车床电路分析	122
3.4.6 三相异步电动机的选择	95	4.6.2 CW6140 型普通车床控制电路	123
3.5 单相异步电动机介绍	96	4.7 实训 5 笼型三相异步 电动机点动、起停控制 电路装接	125
3.5.1 单相异步电动机的工作原理	97	4.8 实训 6 笼型三相异步 电动机正反转控制电路 的装接	126
3.5.2 分相式单相异步电动机	98	4.9 小结	129
3.5.3 罩极式异步电动机	99	4.10 习题	129
3.6 实训 4 单相变压器同名端的 判断和性能测量	99	第 5 章 可编程序控制器简介	132
3.7 小结	102	5.1 可编程序控制器概述	132
3.8 习题	103	5.1.1 可编程序控制器的特点	132
第 4 章 继电器-接触器控制电路	105	5.1.2 可编程序控制器的组成	133
4.1 常用低压电器	105	5.2 可编程序控制器的基本 工作原理	134
4.1.1 开关	105	5.2.1 可编程序控制器的等效电路	134
4.1.2 按钮	106	5.2.2 可编程序控制器的工作方式	135
4.1.3 热继电器	107	5.3 F 系列 PLC 器件和编号	137
4.1.4 熔断器	107	5.3.1 输入继电器	137
4.1.5 低压断路器	108	5.3.2 输出继电器	138
4.2 笼型三相异步电动机的点 动、起停控制电路	109	5.3.3 辅助继电器	138
4.2.1 笼型三相异步电动机的 点动控制电路	109	5.3.4 移位寄存器	138
4.2.2 笼型三相异步电动机的 起停控制电路	110	5.3.5 定时器	139
4.3 笼型三相异步电动机的 正反转控制电路	112	5.3.6 计数器	139
4.3.1 接触器联锁的正反转		5.3.7 特殊辅助继电器	140

5.4 F 系列 PLC 基本逻辑指令	140	6.4.2 触电急救常识	173
5.4.1 LD、LDI、OUT 指令	140	6.5 实训 8 单相电能表和照明 电路的装接	175
5.4.2 AND、ANI 指令	141	6.6 小结	178
5.4.3 OR、ORI 指令	142	6.7 习题	178
5.4.4 ORB 指令	142	第 7 章 常用半导体器件	179
5.4.5 ANB 指令	143	7.1 二极管	179
5.4.6 S、R 指令	143	7.1.1 半导体材料	179
5.4.7 RST 指令	144	7.1.2 PN 结	180
5.4.8 PLS 指令	145	7.1.3 二极管	181
5.4.9 SFT 指令	145	7.2 晶体管	183
5.4.10 NOP 指令	145	7.2.1 晶体管的结构	183
5.4.11 MC、MCR 指令	146	7.2.2 晶体管的电流放大作用	184
5.4.12 CJP、EJP 指令	147	7.2.3 晶体管的特性曲线	185
5.4.13 END 指令	148	7.2.4 晶体管的主要参数	186
5.5 常用基本电路的编程	148	7.3 绝缘栅场效应晶体管	187
5.5.1 编程的基本规则	148	7.3.1 N 沟道增强型 MOS 管	187
5.5.2 编程技巧	149	7.3.2 N 沟道耗尽型 MOS 管	188
5.5.3 动断触头的处理	150	7.4 晶闸管	188
5.5.4 可编程序控制器编程的应用	151	7.4.1 晶闸管的结构	189
5.6 实训 7 三相异步电动机 Y- Δ 启动控制电路的编程	156	7.4.2 晶闸管的工作原理	189
5.7 小结	158	7.4.3 晶闸管的主要参数	190
5.8 习题	158	7.5 实训 9 二极管和晶体管的 简易测试	190
第 6 章 工厂供配电与照明线路及 安全用电	161	7.6 实训 10 常用电子仪器 的使用	193
6.1 电力系统的概念	161	7.7 小结	200
6.1.1 发电厂	161	7.8 习题	201
6.1.2 输配电所	162	第 8 章 晶体管放大电路	202
6.1.3 电力网	162	8.1 单管放大电路的工作原理	202
6.1.4 工厂供配电系统	162	8.1.1 放大电路的组成	202
6.2 照明电路	164	8.1.2 静态工作点的设置	204
6.2.1 照明电路的装接	164	8.1.3 共发射极放大电路的 工作原理	204
6.2.2 导线的选择	167	8.2 晶体管放大电路的图解法	206
6.3 触电和防止触电的 保护措施	168	8.2.1 静态分析	206
6.3.1 触电	168	8.2.2 动态分析	207
6.3.2 防止触电的措施	170	8.2.3 非线性失真	208
6.4 安全用电及触电急救常识	172	8.3 晶体管放大电路的微变	
6.4.1 安全用电常识	172		

等效电路法	209	10.2.2 集电极开路“与非”	
8.3.1 晶体管的微变等效电路	209	门电路	252
8.3.2 放大电路的微变等效电路	210	10.2.3 三态输出“与非”门	
8.3.3 放大电路主要性能参数		电路	253
的计算	211	10.3 组合逻辑电路	255
8.4 实训 11 单管放大电路的		10.3.1 编码器	255
制作与调试	213	10.3.2 译码器与数字显示	257
8.5 实训 12 串联型稳压电源的		10.3.3 加法器	260
制作与检测	215	10.3.4 数据选择器	261
8.6 实训 13 集成稳压电源的		10.3.5 数值比较器	262
制作与调试	218	10.4 实训 16 译码显示电路	264
8.7 小结	221	10.5 小结	266
8.8 习题	222	10.6 习题	267
第 9 章 集成运算放大电路	224	第 11 章 触发器和时序逻辑电路	271
9.1 集成运算放大器简介	224	11.1 集成触发器	271
9.1.1 集成运算放大器的组成	224	11.1.1 RS 触发器	271
9.1.2 运算放大器的主要参数		11.1.2 主从型 JK 触发器	273
和工作特点	225	11.1.3 边沿型 JK 触发器	275
9.2 基本运算电路	227	11.1.4 D 触发器	275
9.2.1 反相比例运算电路	227	11.2 计数器	277
9.2.2 同相比例运算电路	228	11.2.1 二进制计数器	277
9.2.3 加减运算电路	229	11.2.2 二十进制加法计数器	279
9.3 电压比较器	231	11.2.3 N 进制加法计数器	281
9.3.1 电平比较器	231	11.3 寄存器	282
9.3.2 滞回电压比较器	232	11.3.1 数码寄存器	283
9.4 振荡电路	234	11.3.2 移位寄存器	284
9.4.1 振荡电路原理	234	11.4 实训 17 二进制加法	
9.4.2 RC 正弦波振荡电路	235	计数器	285
9.4.3 方波振荡电路	237	11.5 小结	287
9.5 实训 14 用运算放大器		11.6 习题	288
构成的运算电路	239	第 12 章 集成 555 定时器	291
9.6 实训 15 由运算放大器		12.1 集成 555 定时器简介	291
构成的电压比较电路	241	12.2 集成 555 定时器组成的	
9.7 小结	243	施密特触发器	292
9.8 习题	244	12.3 集成 555 定时器组成的	
第 10 章 门电路和组合逻辑电路	247	单稳态触发器	293
10.1 概述	247	12.4 集成 555 定时器组成的	
10.2 门电路	248	多谐振荡器	294
10.2.1 基本门电路	248	12.5 实训 18 集成 555 定时	

器的应用	294	13.4 温度传感器及其应用.....	304
12.6 小结	297	13.4.1 温标和测量方法	304
12.7 习题	297	13.4.2 常用温度传感器	304
第13章 非电量的测量——传感		13.4.3 应用举例	308
器简介	298	13.5 光电传感器及其应用.....	309
13.1 传感器概述	298	13.5.1 光电效应	309
13.1.1 传感器	298	13.5.2 光电元件	309
13.1.2 传感器的组成	299	13.5.3 光电式传感器及其应用	311
13.1.3 传感器的分类	299	13.6 实训19 扩散硅压阻式	
13.2 测力传感器及其应用.....	299	压力传感器	312
13.2.1 弹性敏感元件	299	13.7 实训20 金属箔式应变片:	
13.2.2 电阻应变式传感器	300	单臂、半桥、全桥比较	314
13.2.3 测力传感器的应用	301	13.8 小结	315
13.3 位移传感器及其应用.....	302	13.9 习题	315
13.3.1 电阻应变片位移传感器	302	部分习题参考答案	316
13.3.2 霍尔式传感器	303	参考文献	321

第1章 直流电路

本章要点

- 电路的主要物理量及其参考方向
- 电路元件的伏安关系及其等效变换
- 电路的三种工作状态及额定值
- 电路的基本定律、基本定理
- 电路中电位的概念和计算

1.1 电路及其主要物理量

1.1.1 电路的组成和作用

1. 电路的组成

电路就是电流所经过的路径，它是为完成某一功能，由各电路元件按一定方式组合而成的。电路元件的结构形式多样，繁简不一，功能也不尽相同。在研究电路的工作原理时，通常是用一些规定的图形符号来代表实际的电路元件，并用连线表示它们之间的连接关系，画成原理电路图进行分析。原理电路图简称电路图。

图 1-1 所示的电路是一个最简单的实用直流电路，它由一个电源(干电池)、一个负载(小灯泡)、一个开关和连接导线所组成。对电源来讲，负载、连接导线和开关称为外电路，电源内部的一段电路称为内电路。图 1-2 是该直流电路的电路图。

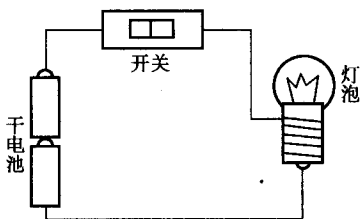


图 1-1 手电筒电路

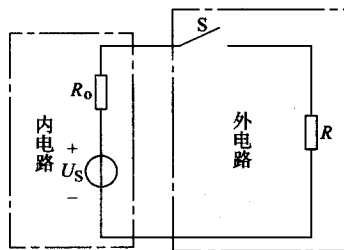


图 1-2 原理电路图

电源是供应电能的装置，它把其他形式的能量转换为电能。例如干电池、蓄电池、发电机等都是电源。

负载是取用电能的装置，它把电能转换为其他形式的能量。例如电灯、电动机等。

连接导线和开关，用来连接电源与负载，它们构成电流的通路，把电源的能量输送给负载，并根据需要控制电路的接通和断开，统称中间环节，起传输和控制电能的作用。

2. 电路的作用

(1) 电能的传输、转换和分配

此功能一般由电力电路实现。对于这一类电路，要求在传输和转换过程中，尽可能地减少能量损耗，以提高效率。

(2) 电信号的产生、传递、处理和应用

此功能一般由电子电路实现。电子电路中电源称为信号源，其电信号虽然也有能量的传输和转换，但其数量很小，一般所关心的是信号传递的质量，如要求失真小、准确、灵敏、快速等。

一个完整的电路，由电源(或信号源)、负载和中间环节这三个基本部分组成，它们是缺一不可的。

1.1.2 电路模型

实际电路中的元件种类繁多，在电路分析中不可能因物而异，通常是将实际电路元件理想化(或模型化)，即在一定条件下，突出其主要的电磁性质，忽略其次要因素，把它近似地看做理想电路元件，用一个理想电路元件或由几个理想元件的组合来代替实际电路元件。最基本的理想电路元件有无源和有源两类。无源的电路元件有：只消耗电能，并将电能转换为其他能量的电阻元件；只表示磁场效应，具有储存或释放磁场能量性质的电感元件；只表示电场效应，具有储存或释放电场能量性质的电容元件。有源的电路元件有提供电压的电压源元件和提供电流的电流源元件。

用理想电路元件及其组合来代替实际电路元件，就构成了与实际电路相对应的电路模型。如用电阻 R 的理想电路元件来代替电阻器、电阻炉、灯泡等消耗电能的实际元件，用内电阻 R_0 和理想电压源 U_s 相串联的电路模型来代替实际的直流电源等。

我们在进行理论分析时所指的电路，就是这种电路模型。根据对电路模型的分析所得出的结论，有着广泛的实际指导意义。

1.1.3 电路的主要物理量

1. 电流

电荷的定向移动就形成了电流。电流的实际方向习惯上指正电荷运动的方向，电流的大小常用电流强度来表示。电流强度指单位时间内通过导体横截面的电荷量。电流强度习惯上又被简称为电流。

电流主要分为两类：一类大小和方向均不随时间改变的电流叫做恒定电流，简称直流，其电流强度用符号 I 表示。另一类为电流的大小和方向随时间变化，称为变动电流。其电流强度用符号 i 来表示。其中一个周期内电流的平均值为零的变动电流叫做交变电流，简称交流，其电流强度也用符号 i 来表示。在本章只研究直流电路。

对于直流，单位时间内通过导体横截面的电荷量是恒定不变的。

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-1)$$

对于变动电流(含交流)，在一很小的时间间隔 dt 内，通过导体横截面的电荷量为 dQ ，则该瞬间电流强度为

$$i = \frac{dQ}{dt} \quad (1-2)$$

电流的单位是 A(安[培])。1A 电流为 1s(秒)内通过导体横截面的电荷为 1C(库[仑])。常用的有千安(kA), 毫安(mA)或微安(μ A)。

在分析电路时, 对复杂电路中某一段电路里电流的实际方向有时很难立即判定, 有时电流的实际方向还在不断地改变, 因此在电路中很难确定电流的实际方向。为了解决这样的困难, 引入了电流的“参考方向”这一概念。

在一段电路或一个电路元件中事先可任意选定一个方向, 称电流的参考方向。在电路图中用箭头表示, 或用双下标表示, 如 I_{ab} 表示参考方向是由 a 指向 b 的电流。但选定的电流参考方向不一定与电流的实际方向一致。当电流的实际方向与参考方向一致时, 电流为正值 ($I > 0$), 如图 1-3a 所示; 当电流的实际方向与参考方向相反时, 电流为负值 ($I < 0$), 如图 1-3b 所示。因此在选定参考方向之后, 电流的值才有正负之分。也只有在此条件下, 电流的正负才有意义。必须指出, 参考电流一经选定, 就不能任意改变。

2. 电压和电位

图 1-1 所示手电筒电路中, 灯泡发光是由于灯泡中有电流通过, 其两端存在电场力, 在电场力作用下正电荷做功, 将电能转换成光能的结果, 即在灯泡两端存在电压。

(1) 电压

图 1-4 所示电路中, 将单位正电荷 Q 从 a 移动到 b 点, 电场力所做的功 W_{ab} 称为电压 U_{ab} 。

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} \quad (1-3)$$

电压的单位是伏[特](V)。1V 电压为 1C(库[仑])正电荷在电场力作用下做了 1J(焦[耳])的功。电压的单位还有千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μ V)等。

电压的实际方向规定为电场力的方向, 即 a 点指向 b 点。

在一些复杂电路中, 某两点间的电压实际方向有时难以事先确定, 和对待电流一样, 在元件或电路两点之间可以任意选定一个方向为电压的参考方向。当电压的实际方向与电压的参考方向一致时, 电压值为正 ($U > 0$), 如图 1-5a 所示; 反之, 当电压的实际方向与电压的参考方向相反时, 电压值为负 ($U < 0$), 如图 1-5b 所示。同电流一样, 不标出电压参考方向, 电压的正负值就没有正确的意义。

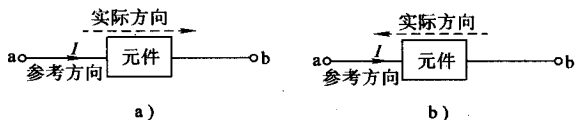


图 1-3 电流参考方向与实际方向的关系
a) $I > 0$ b) $I < 0$

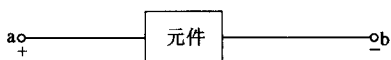


图 1-4 电路中的电压

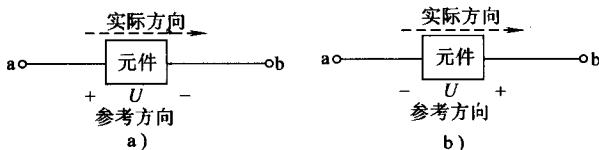


图 1-5 电压参考方向与实际方向的关系
a) $U > 0$ b) $U < 0$

电压的参考方向用电压极性“+”、“-”表示；也有用箭头或双下标表示的，如 U_{ab} 表示电压的参考方向由 a 点指向 b 点。

电压的实际方向是客观存在的，它决不因该电压的参考方向的不同选择而改变，由此可知： $U_{ab} = -U_{ba}$ 。

电流参考方向的选定与电压参考方向的选定是任意的。但为了方便起见，对一段电路或一个电路元件，如果选定电流的参考方向与电压的参考方向一致，即选定电流参考从标以电压“+”极性端流入，从标以电压“-”极性端流出，则把这种电流和电压的参考方向称为关联参考方向，如图 1-6a 所示；反之，称非关联参考方向，如图 1-6b 所示。

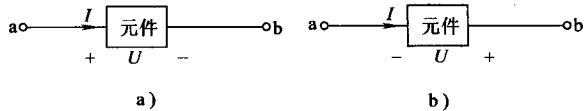


图 1-6 电流、电压的关联和非关联参考方向

a) 关联参考方向 b) 非关联参考方向

需要指出，在计算电路的某一未知电流或电压时，应先标明该电流或电压的参考方向，一经选定，其参考方向不能改变。

(2) 电位

将单位正电荷 Q 从 a 点移动到电位参考点 b，电场力所做的功 W_a 称为电压 V_a 。

$$V_a = \frac{W_a}{Q} \quad (1.4)$$

在电路中，常指定电路中某一点（只能一点）的电位为零，称为电位参考点。一般将电路中的接地端或公共端作为参考点。指定参考点后，电路中各点的电位均是唯一的值。当电路中其他点电位比参考点高时，则该点电位为正，否则为负。

电位的单位是伏[特](V)。

由此可见，电路中任意两点的电位之差称为电压，用字母 U 表示。例如 a、b 两点间的电压为

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1.5)$$

所以电压又称为电位差。由于电压的实际方向规定为电场力的方向，因此电位是逐点降低的，称为“电位降”。

【例 1-1】 在图 1-7a 中，各方框表示电路中的各种元件。已知 $I_1 = 3A$ ， $I_2 = 2A$ ， $I_3 = -1A$ ， $V_a = 10V$ 、 $V_b = 8V$ 、 $V_d = -3V$ 。

(1) 欲验证 I_1 、 I_3 数值是否正确，各电流表在图中应如何连接？并标明电流表极性。

(2) 求 U_{ab} 、 U_{bd} ，若要测量这两个电压，电压表应如何连接？并标明电压表极性。

解 (1) $I_1 > 0$ ，表示实际电流方向与参考电流方向相同，则电流表 A_1 串入元件 1、3 电路中，电流表如图 1-7b 中 A_1 ； $I_3 < 0$ ，表示实际电流方向与参考电流方向相反，则电流表 A_3 串入元件 2、5 电路中，电流表如图 1-7b 中 A_3 。

(2) $U_{ab} = V_a - V_b = 10V - 8V = 2V$

$$U_{bd} = V_b - V_d = 8V - (-3V) = 11V$$

或 $U_{ab} = U_{ad} + U_{db} = V_a - V_d + V_d - V_b = 10 - (-3) + (-3) - 8 = 2V$

$$U_{bd} = U_{ba} + U_{ad} = V_b - V_a + V_a - V_d = 8 - 10 + 10 - (-3) = 11V$$

由于 $U_{ab} > 0$ ，表示实际电压方向与参考电压方向一致，则电压表 V_1 并接在元件 1 两端，

且电压表的“+”端接到a端，电压表的“-”端接到b端，如图1-7b中 V_1 ； $U_{bd} > 0$ ，表示实际电压方向与参考电压方向一致，则电压表 V_2 并接在元件4两端，且电压表的“+”端接到b端，电压表的“-”端接到d端，如图1-7b中 V_2 。

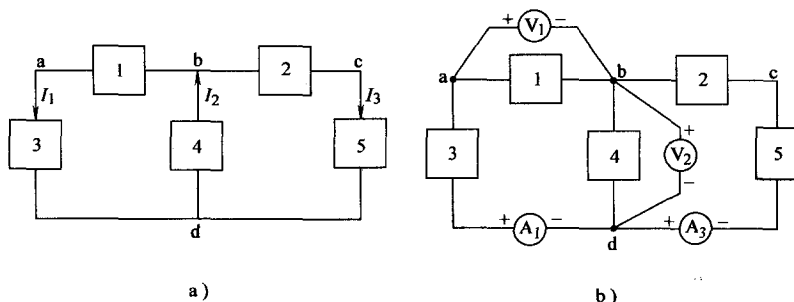


图 1-7 例 1-1 图

以上两种思路计算所得结果完全相同，由此得出如下结论：

- 1) 两点之间的电压等于这两点之间路径上全部电压的代数和；
- 2) 计算两点间的电压与路径无关。

3. 电功率和电能

(1) 电功率

在电流通过电路的同时，电路中发生了能量的转换。

在电源内，非电场力不断地克服电场力对正电荷做功，正电荷在电源内获得了能量，把非电能转换成电能。在外电路中，正电荷在电场力作用下，不断地流过负载，正电荷在外电路中放出能量，把电能转换成为其他形态的能。由此可见，在电路中，电荷只是一种转换和传输能量的媒介物，电荷本身并不产生或消耗任何能量。通常所说的用电，就是指取用电荷所携带的能量。

在电流、电压采用关联参考方向时，某段时间内，电路消耗的电能与该段时间的比值称为电功率，用 P 表示。

$$P = \frac{W}{t} = \frac{UQ}{t} = UI \quad (1-6)$$

功率的单位是瓦[特] (W)，常用千瓦(kW)、毫瓦(mW)。

当采用非关联参考方向时，电功率 P 为

$$P = -UI \quad (1-7)$$

当 $P > 0$ 时，表示该元件消耗功率，或称取用功率；当 $P < 0$ 时，表示该元件供出功率，或称提供功率。在计算功率时一定要分清电流、电压的参考方向是关联参考方向还是非关联参考方向。

【例 1-2】 如图 1-8 所示，已知 $U_1 = 24V$ ， $U_3 = 22V$ ， $I = 5A$ ，求 U_2 、 P_1 、 P_2 和 P_3 。

解 $U_2 = U_1 - U_3 = 24V - 22V = 2V$

元件 1 的 U_1 和 I 为非关联参考方向，故

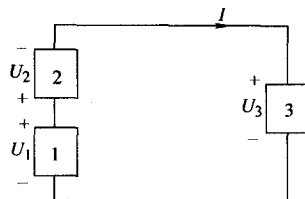


图 1-8 例 1-2 电路

$$P_1 = -U_1 I = -24\text{V} \times 5\text{A} = -120\text{W} (\text{供出功率})$$

元件 2、3 的 U_2, I 及 U_3, I 为关联参考方向, 故

$$P_2 = U_2 I = 2\text{V} \times 5\text{A} = 10\text{W} (\text{消耗功率})$$

$$P_3 = U_3 I = 22\text{V} \times 5\text{A} = 110\text{W} (\text{消耗功率})$$

电路中供出功率为 $P_1 = -U_1 I = -120\text{W}$

电路中消耗功率为 $P_2 + P_3 = 10\text{W} + 110\text{W} = 120\text{W}$

可见电路中供出功率与消耗功率相等, 符合能量守恒定律。

(2) 电能

在某段时间内, 电路中产生 (或消耗) 的功率称为电能; 用 W 来表示。

$$W = Pt = Ut \tag{1-8}$$

式中 U ——电压 (V);

I ——电流 (A);

t ——时间 (s)。

电能的单位是焦[耳] (J), 也可用千瓦·[小]时(kW·h), $1\text{kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6\text{J}$ 。

【思考题 1-1】

(1) 导线中通过一直流电流, 已知 1s 内从该导线 a 端到 b 端通过横截面的电荷量为 0.5C。

①如通过导线的电荷是正电荷, 试求 I_{ab} 和 I_{ba} ;

②如通过导线的电荷是负电荷, 试求 I_{ab} 和 I_{ba} 。

(2) 如图 1-9 所示, 当某元件两端电压 $U = -150\text{V}$ 时, 试写 U_{ab} 和 U_{ba} 各为多少伏。

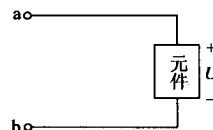


图 1-9 思考题 1-1 (2) 电路

(3) 某一生产车间有 100W、220V 的电烙铁 50 把, 每天使用 5h, 一个月 (按 30 天计) 用电多少 kW·h?

1.2 电阻元件及电阻的串、并联连接

在具有固定阻值的金属材料、炭精棒等物体两端接上导线就构成了电阻器, 如图 1-10a 所示为金属膜电阻器和线绕电阻器的外形图。

电阻元件是电阻器的理想化模型。其电路中的图形符号如图 1-10b 所示, 文字符号为 R 。

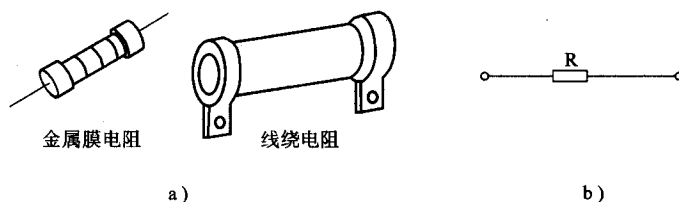


图 1-10 电阻

a) 电阻的种类 b) 电阻的图形符号和文字符号